

DIE FUNKTIONELLEN STRUKTUREN
DES LIGAMENTUM LONGITUDINALE ANTERIUS

VON

• ECKART STOFFT

1967

Aus dem Anatomischen Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Direktoren: Prof.Dr.Dr. A.Dabelow, Prof.Dr. M.Watzka)

DIE FUNKTIONELLEN STRUKTUREN
DES LIGAMENTUM LONGITUDINALE ANTERIUS

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

ECKART STOFFT

aus Bad Kreuznach

MAINZ 1966

Dekan: Professor Dr.med. J. Borneff
Referent: Professor Dr.Dr. A. Dabelow
Tag der mündl. Prüfung: 24. Februar 1967



Gesamtherstellung: Ditters Bürodienst Mainz

MEINEN ELTERN
IN DANKBARKEIT
GEWIDMET

INHALTSVERZEICHNIS

I. Einleitung und Problemstellung	1
II. Material und Untersuchungstechnik	2
III. Befunde	3
IV. Diskussion	9
V. Zusammenfassung	12
VI. Literaturverzeichnis	15

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

In der Literatur finden sich zahlreiche Beschreibungen der Bänder und der gelenkigen Verbindungen der Wirbelsäule; Angaben über die funktionellen Strukturen des vorderen Längsbandes werden jedoch nur am Rande vermerkt. Dies geschieht meist im Zusammenhang mit der Betrachtung des makroskopischen und mikroskopischen Aufbaus des gesamten Bandapparates der Wirbelsäule (BENNINGHOFF / GOERTTLER (1960), TÖNDURY (1959), JUNGHANS (1958), SIEGLBAUER (1935), CORNING (1914)).

CARVALHO (1964) versuchte in seiner Abhandlung über das Ligamentum longitudinale anterius erstmalig über die funktionellen Strukturen dieses Bandes Auskunft zu geben und diese Strukturen zu einem funktionell-anatomischen System, so wie es BENNINGHOFF (1929, 1930, 1931) verstand, zusammenzufassen.

Während sich CARVALHOs Betrachtungen auf die Wirbelsäule des Neugeborenen beschränkten, ist es Aufgabe dieser Untersuchung, die Funktionsarchitektur des Ligamentum longitudinale anterius beim Erwachsenen zu erfassen und mit den bisherigen Befunden zu vergleichen.

TÖNDURY (1959) und SIEGLBAUER (1935) haben in der Bewegungshemmung und der Unterstützung der Stabilität der Wirbelsäule die Hauptaufgabe des Bandapparates gesehen. PETERSEN (1918) hat dagegen in seiner Bewegungslehre und seiner Betrachtung über die Aufgaben der Bänder den kinematischen Faktor besonders unterstrichen.

An dieser Stelle soll von einer physikalischen Betrachtung des Ligamentum longitudinale anterius abgesehen werden; es soll vielmehr die Struktur betrachtet und die Gestalt des Bandes in ihrem Zusammenhang mit der Leistung beschrieben werden.

Auch hier war folgende Definition funktioneller Strukturen - von BENNINGHOFF ausgesprochen - das Leitmotiv:

"Als funktionelle Struktur bezeichnet ROUX eine der Funktion hochgradig bis ins Feine hinein angepaßte Form, wobei die gegebene Funktion mit einem Minimum an Material oder mit dem gegebenen Material das Maximum an Funktion geleistet wird" (BENNINGHOFF 1931).

Obwohl FICK (1911) und MERKEL (1913) die durch seine Funktion bedingte besondere Struktur des vorderen Längsbandes betonten, verzichtete PETERSEN (1918) auf eine Strukturanalyse dieses Bandes und versuchte das "Funktions-

problem" von der mathematischen Seite her zu lösen. Dabei gliederte er das Bandsystem in verschiedene Bandelemente auf und verwies nur auf die funktionelle Wirkung dieser Teilelemente.

Auf Grund der Untersuchungen BENNINGHOFFs (1929-30) über die spannungstrajektorielle Architektur des Knochens und zahlreicher ähnlicher Arbeiten ist anzunehmen, daß auch die Struktur des Bandapparates, speziell die des Ligamentum longitudinale anterius, von seiner Funktion abhängig sein wird.

Ein Teil der Wirbelsäule ist das vordere Längsband, welches für die Aufrechterhaltung des Körpers ein unerläßliches Element darstellt. Dieses muß entsprechend seiner vielfältigen Aufgaben den funktionellen Strukturen der Gesamtwirbelsäule angepaßt sein, die auf Druck, Zug, Torsion und Verbiegung beansprucht werden.

Nicht nur aus theoretischen Erwägungen ist daher eine eingehende Analyse dieser Wirbelsäulenteilstruktur von Interesse.

II. MATERIAL UND UNTERSUCHUNGSTECHNIK

Als Frischpräparate konnten die Wirbelsäulen eines Neugeborenen und einer 43 und 52 Jahre alten männlichen Leiche untersucht werden, auch ein Demonstrationspräparat des Mainzer Anatomischen Institutes stand zur Verfügung. Die Erfassung und Wiedergabe der Spongiosastrukturen des Wirbelkörpers erfolgte an einer mazerierten Wirbelsäule. Die Frischpräparate dienten zur makroskopischen und mikroskopischen Untersuchung des vorderen Längsbandes.

Für die mikroskopische Untersuchung wurde das Material mit 5%iger Salpetersäure entkalkt.

Nach einer Natriumsulfat-Nachbehandlung erfolgte eine Zerlegung in große Stücke aus je zwei benachbarten Wirbelkörpern und einem dazwischenliegenden Discus.

Nach Wässerung wurden 100 - 300 μ dicke Schnitte mit dem Gefriermikrotom angefertigt. Es wurden Serienschritte zu je 50 Stück hergestellt, wobei die Schnittführung in drei Ebenen erfolgte. Die von CARVALHO (1964) angegebene Methodik wurde auch hier beachtet.

Hals, Brust und Lendenregion wurden in horizontaler, frontaler und sagittaler Ebene geschnitten.

Die Schnitte wurden mit Azan, Azocarmin und Resorcin-Fuchsin gefärbt. Jeder vierte Schnitt blieb ungefärbt.

Diese Schnitte wurden unter dem Binocular im polarisierten und durchfallenden Licht untersucht.

Auch DABELOW (1950), ROHEN (1953), MÜLLER (1963), WONGPHAET (1963) und CARVALHO (1964) haben diese Methode bei ihren Untersuchungen verwandt.

Durch den langen Färbevorgang werden die Knochen und Bandstrukturen stark artefiziert. Das zu untersuchende Band löst sich von seiner Unterlage und seinen Befestigungen, und die Spongiosastruktur des Knochens zerfällt.

Da hierdurch eine genaue Analyse der Befestigungen der Bandfasern am Knochen unmöglich wurde, verzichtete ich später auf eine Färbung der Schnitte.

Vorwiegend wurden Frischschnitte (ungefärbt) im binocularen Mikroskop mittels der von MÜLLER (1961) entwickelten Polarisationsapparatur untersucht und photographiert.

III. BEFUNDE

Vor der eigentlichen Beschreibung der Strukturen des vorderen Längsbandes muß die Spongiosastruktur des Wirbelkörpers einer kurzen Betrachtung unterzogen werden, da ohne deren Kenntnis der Verlauf und die Befestigung der Bandfasern nicht verstanden werden können.

Bekanntlich behält auf Grund seiner chemischen Zusammensetzung der Knochen seine Struktur selbst nach bestimmten chemischen und physikalischen Prozessen bei. Organische und anorganische Substanz bilden eine so innige Einheit, daß nach Entkalkung oder Mazeration der Wirbel vollkommen seine Struktur erhält.

An jedem Wirbelkörper lassen sich zwei Zonen unterscheiden, eine äußere dünne Kompakta und eine innere Spongiosa. Die Kompakta ist von zahlreichen Foramina durchbrochen, die den ernährenden Gefäßen als Eintrittspforte dienen. Das oberflächliche Spongiosagerüst besteht nun nicht in einer Vielzahl sich überkreuzender Trabekel, sondern in dem Verlauf dieser Trabekel ist ein gewisses sich wiederholendes Anordnungsprinzip festzustellen (Abb. 1, 2, 3, 4 u. Schema ad 3).

Die an der Außenfläche liegenden Spongiosabälkchen laufen s-förmig gekrümmt vom oberen zum unteren Rand des Wirbelkörpers. Es können Trabekel beobachtet werden, die nur parallel verlaufen, andere, die sich gegenseitig überkreuzen. An der Bildung eines Schnittpunktes oder Kreuzungspunktes sind Trabekel beteiligt, die in horizontaler, frontaler und sagittaler Ebene verlaufen (siehe ad 3 a).

Schnitte - unter dem Polarisationsmikroskop untersucht - zeigen jedoch, daß es sich hier nicht um getrennte Systeme handelt, sondern jedes entsteht durch die Aufspaltung jedes einzelnen. Durch den geschwungenen Verlauf und das Sich-Aufspalten, Sich-Überkreuzen und In-der-Richtung-Abbiegen der Trabekel werden Formen gebildet, die bei Aufsicht oder im Frontalschnitt wie Rhomben aussehen, im räumlichen Blickfeld aber die Gestalt von gekanteten Würfeln annehmen (ad 3 a). Am cranialen und caudalen Pol des zylinderförmigen Wirbelkörpers verlaufen die Trabekel in der homogen und verdickt erscheinenden Randzone.

Durch das Überkreuzen der Trabekel werden Lücken gebildet; die größten sind die Foramina nutricia, die einen stabilen Wall erhalten (s. Abb.5).

Daß die Trabekel im Bereich der Processus costarii et transversii ihre eigentümliche Architektur aufgeben und entsprechend der Fortsetzung der Richtung der einstrahlenden Bänder in einen fächerförmigen Verlauf übergehen, soll an dieser Stelle nicht weiter erörtert werden (s. Abb.6).

Das Ligamentum longitudinale anterius zieht als bläulich-weiß schimmerndes Band vom Hals bis zum Lendenbereich. Von diesem Bandstreifen hebt sich ein mittlerer verdickter Teil ab, der in seiner Breite 1 - 1,5 cm mißt und im Lendenbereich um 0,5 cm zunimmt.

Tabelle:

(jeweils in Corpusmittelzone gemessen)

C 2 : 18 mm	TH 1 : 10 mm	TH 11 : 15 mm	L 1 : 15 mm
C 3 : 16 mm	TH 2 : 11 mm	TH 12 : 15 mm	L 2 : 17 mm
C 4 : 12 mm	TH 3 : 14 mm		L 3 : 16 mm
C 5 : 10 mm	TH 4 : 12 mm		L 4 : 17 mm
C 6 : 9 mm	TH 5 : 13 mm		L 5 : sich bis auf
C 7 : 10 mm	TH 6 : 14 mm		Bandbreite
	TH 7 : 16 mm		erstreckend
	TH 8 : 15 mm		
	TH 9 : 13 mm		
	TH 10 : 14 mm		

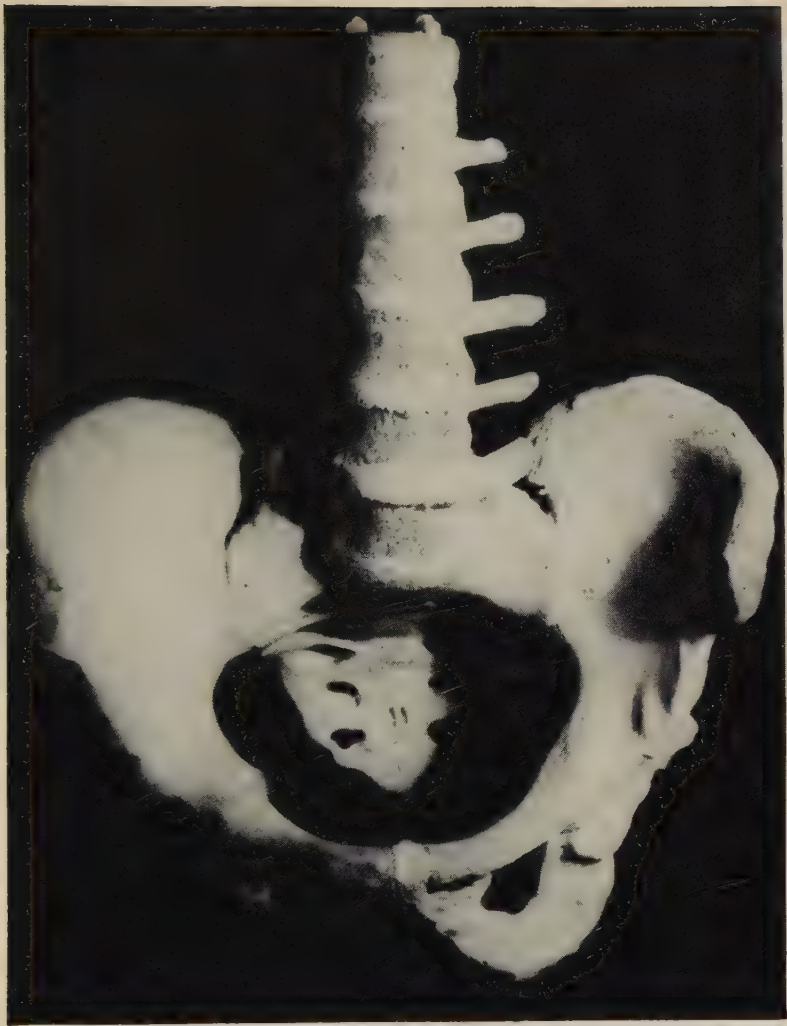


Abb. 1: Beckengürtel und Lendenwirbelsäule (Demonstrationspräparat).
Wirbelsäule und Beckengürtel sind mazeriert. Die Disci intervertebrales sind
durch Filzscheiben und Gips ersetzt.

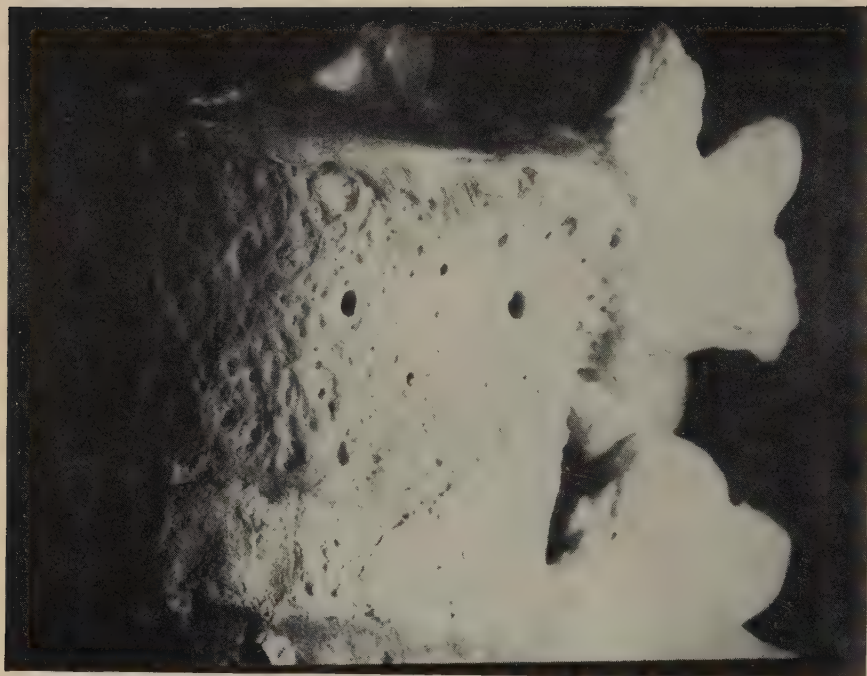


Abb. 2: Vertebra thoracica 12.

Oberflächliche Spongiosaarchitektur und Foramina nutricia. Kompaktawulst deutlich. Schraubenstruktur (spitzwinkliges Gitter) der oberflächlichen Spongiosabälkchen in zwei entgegengesetzten Richtungen.

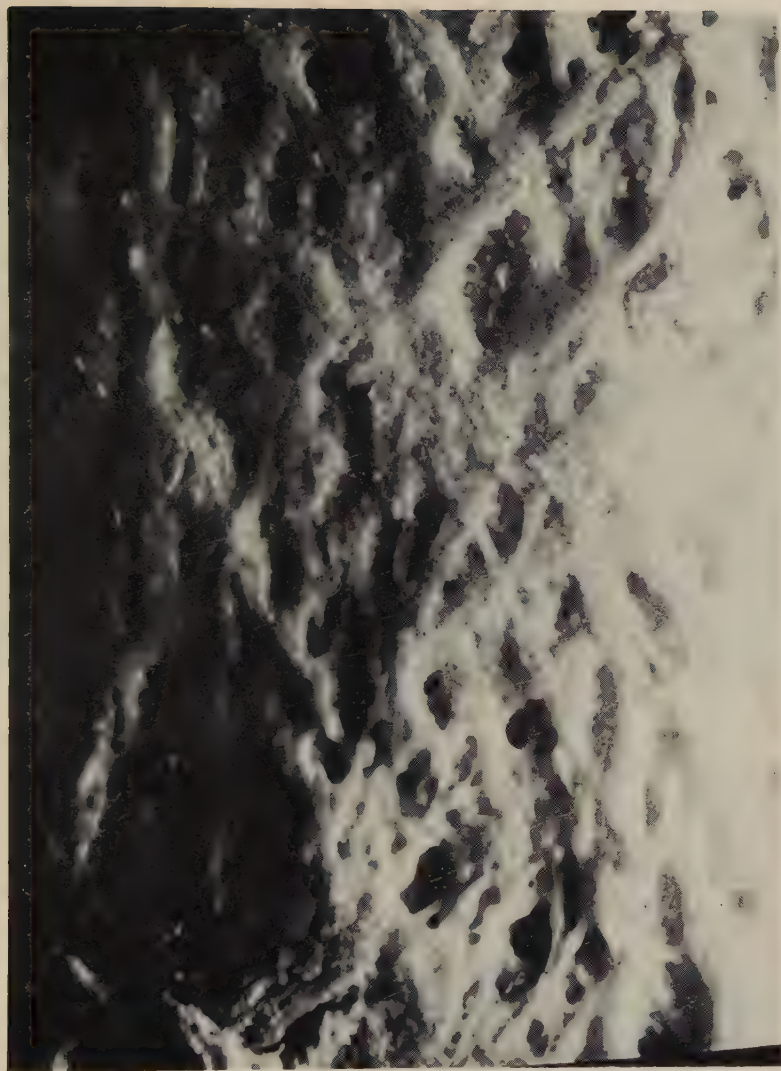


Abb. 3: Vertebra thoracica 12.

Die Trabekel der oberflächlichen Spongiosaschicht verlaufen s-förmig sich überkreuzend vom cranialen zum caudalen Rand des Wirbelkörpers. Sie verlaufen jedoch nicht in einer Ebene, sondern biegen von der vertikalen Richtung nach dem Spongiosainneren in die Horizontalebene ab. Die Trabekel umschließen die Foramina nutricia.

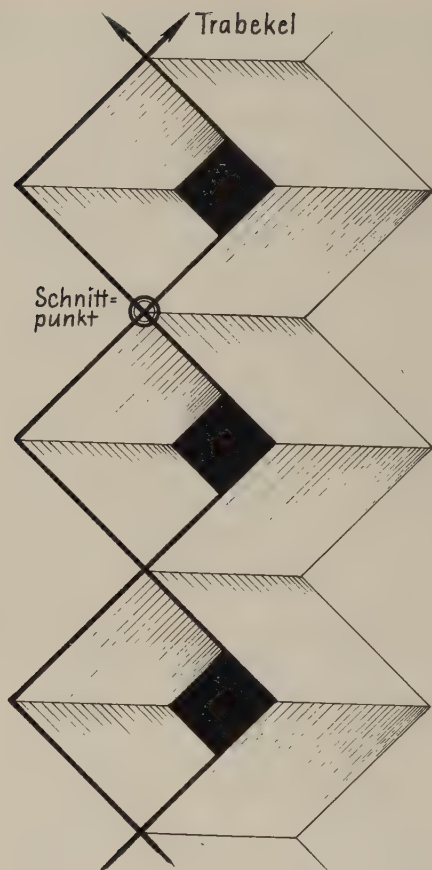


Abb. ad 3a: Schematische Darstellung der zur Bildung eines Schnittpunktes benötigten Trabekel der Zona spongiosa. Durch den dreidimensionalen Verlauf der Trabekel werden Figuren gebildet, die gekanteten Würfeln gleichen.

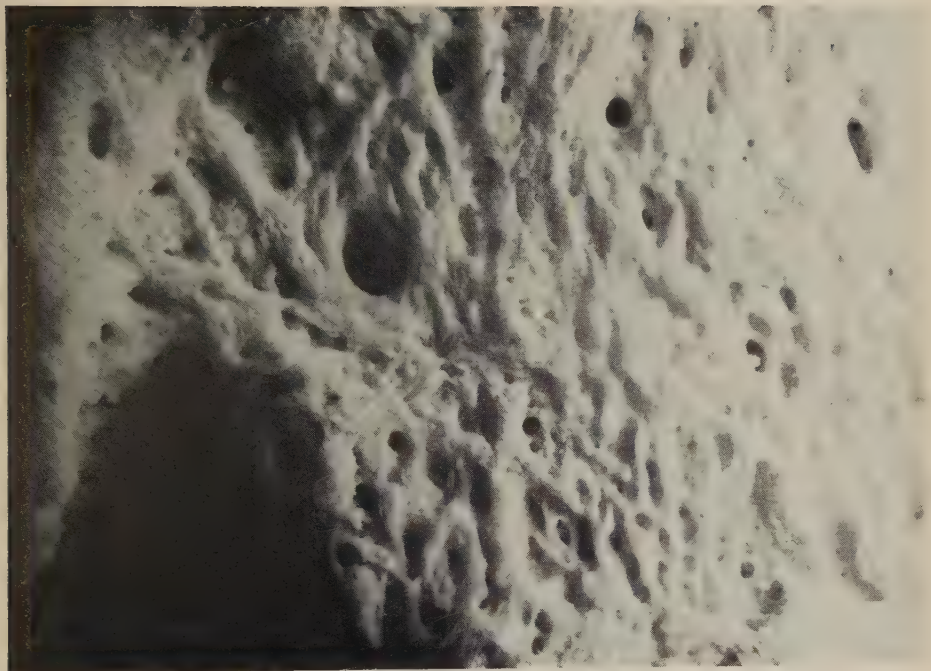


Abb. 4: Oberflächliche Spongiosastruktur (Th 12).

Die einzelnen Spongiosabalkchen sind deutlich zu erkennen. Gitterförmige Anordnung. Die Ausschnittvergrößerung zeigt das Verhalten der Trabekel in der Nähe eines Foramen nutritium.

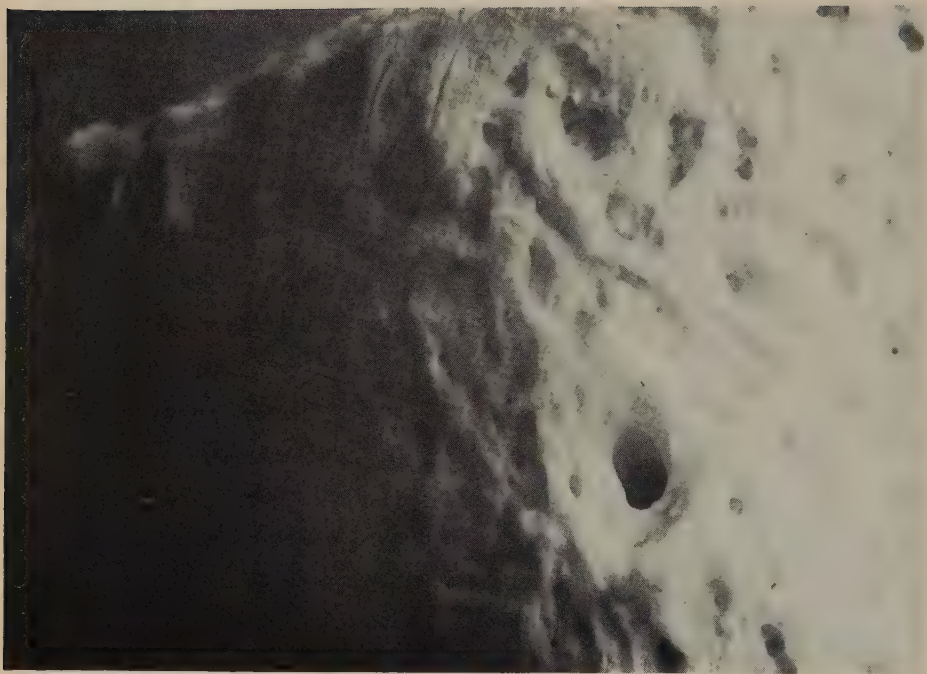


Abb. 5: Th 12.

Oberflächliche Trabekelstruktur um das Foramen nutricium. Durch den s-förmigen, sich überkreuzenden Verlauf der Trabekel wird ein stabiler Wall für das Foramen gebildet. Am oberen Rand der Fotografie ist der Kompaktawulst erkennbar. Vor der Mazeration waren Knochenlücken mit Binde- und Fettgewebe ausgefüllt. Die Bälkchen dienen den Fasern der innersten Bandschicht des vorderen Längsbandes als Anheftungszonen.

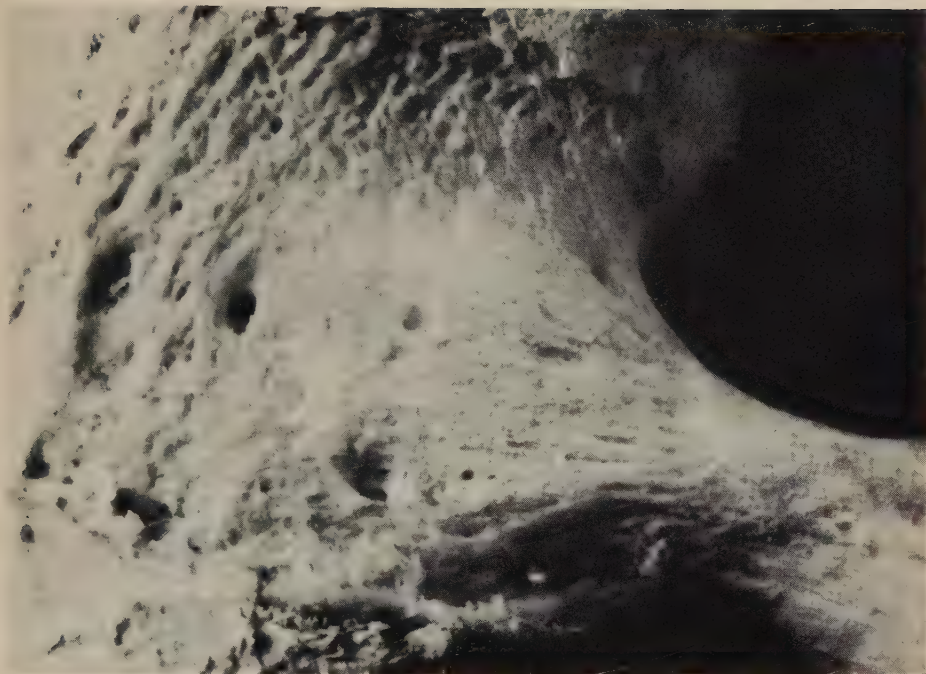


Abb. 6: Oberflächliche Spongiosastruktur an der Wurzel des Processus costarius von L 2. Die sonst longitudinal verlaufenden Trabekel weichen von ihrer Richtung ab und bilden im Bereich der Proc.costarii (gleiches im Bereich der Proc.transversi) die hier eigentümliche, fächerförmige Architektur. Die Knochenstruktur folgt der Richtung der Bandfasern und geht an den Rändern des Fächers in die doppelte Schraubenstruktur (Gitterstruktur) des Wirbelkörpers über (deutlich am oberen Rand).



Abb. 7: Vertebrae thoracicae 5 - 8.

Wirbelsäule wurde ohne Mazeration präpariert. Einzelne Faserzüge des vorderen Längsbandes sind zu erkennen. Deutlich hebt sich ein seitlich liegendes Faserkontingent ab. Es überzieht Wirbelkörper und Discus. Unter angeschnittener oberflächlicher, longitudinal verlaufender Schicht sind tiefer gelegene Schichten zu sehen.

Mit dem unbewaffneten Auge sind mehrere Faserschichten zu unterscheiden, die longitudinal verlaufen und sich im Bereich der Disci überkreuzen. Im Lendenbereich ist dies am deutlichsten zu erkennen (siehe Abb. 7, 8, ad 8, 9). Mit der Lupe erkennt man jedoch, daß die Fasern der äußersten Schicht nicht nur longitudinal, parallel verlaufen, sondern sich in extrem spitzen Winkeln überkreuzen.

Das Band verstärkt sich an den seitlichen Wirbelkörperflächen zu mehreren strangähnlichen Faserzügen, die zwischen sich kleine, teils mit Fettgewebe ausgefüllte Spalten freilassen, die dem Durchtritt der ernährenden Gefäße dienen. Während in der tiefen Faserschicht andere Systeme liegen, die in horizontaler Richtung sich überkreuzen und eine feste Beziehung zu Knochen und Discus haben, ziehen die Fasern der medialen, oberflächlichen Schicht ohne feste Anheftung von Hals zu Lendenbereich. Diese Schicht läßt sich auch leicht von ihrer Unterlage abheben. Im Schnittpräparat lassen sich jedoch auch hier Fasern analysieren, die von der äußeren Schicht nach innen abbiegen und in die tiefer gelegene Faserplatte einstrahlen, wobei sie sich innig zu einem maschenförmigen, querverlaufenden Gitter verknüpfen. Die Maschen des oberflächlich gelegenen Fasergitters kann man als spitzwinklig ausgezogen bezeichnen, in den tieferen Schichten werden sie breiter, wobei Öffnungswinkelunterschiede zwischen Hals und Lendenbereich vorhanden sind (in der Lendenregion bis zu 20° weiter geöffnet).

Trennt man die oberste Faserschicht des Bandes ab, so sieht man hauptsächlich im Bereich der Disci, und hier vorwiegend der lumbalen, Faserzüge, die von dem longitudinalen und spitzwinklig sich in einer Ebene überkreuzenden Verlauf abweichen und als einzelne Stränge erkennbar sich in Zwischenwirbelscheibenhöhe treffen, sich hier überkreuzen und in die verstärkte Zone der Kompakta oder in die Spongiosa ziehen.

Die Hauptmasse der longitudinal von cranial nach caudal ziehenden Bandfasern überspannt brückenförmig die Disci, einzelne Longitudinalfasern stehen jedoch mit der Lamellenstruktur des Anulus fibrosus in Verbindung.

In der Spannweite dieser "Bögen" sind regionäre Unterschiede vorhanden.

- a) Halsregion: 2-3 Wirbel überpringend vor Anheftung
- b) Brustregion: 2 Wirbel überspringend, dann Anheftung
- c) Lumbalregion: von Wirbel zu Wirbel ziehend

Es spannen sich jedoch nicht nur "Brücken" von Wirbelkörper zu Wirbelkörper, sondern auch von Discus zu Discus und letztlich vereinzelt solche von Discus zu Wirbelkörper. Das Abbiegen der Fasern im Bereich der Disci (siehe

Abb. 9) vollzieht sich so, daß die von cranial nach caudal verlaufenden Fasern in die Tiefe steigen und nach dem Rande des Wirbelkörpers hinziehen, oder schon aus einer tiefer gelegenen Schicht stammen und diesen Verlauf nehmen. Andere Fasern ziehen unter ständiger Überkreuzung vom Wirbelkörpertrand zur Bandmitte hin. Einige laterale Faserzüge überziehen 3 Wirbelkörper, bis sie sich in den Anheftungszonen verlieren.

Die tiefer gelegenen Fasern überspringen meist nur einen Wirbelkörper, um sich dann in der Faserstruktur des Anulus fibrosus aufzuzweigen (auch hier regionär verschieden wie oben).

Die mittlere Faserzone stellt ein Netz mit rautenförmigen Maschen dar, das nicht nur in einer Ebene, d.h. der Vertikalebene liegt, sondern gleichzeitig von einzelnen Faserzügen etwas nach horizontal gedreht wird, um in die jeweilige Wirbel- bzw. Zwischenwirbelebene einzustrahlen. Während die Diagonalen der rhombischen Lücken im Wirbelkörperbereich in der vertikalen Ebene liegen, verlaufen sie auf Grund der Abbiegungs- und Überkreuzungswinkel im Bereich der Disci horizontal (siehe Abb. 12).

Im Gebiet der Lendenwirbel kann man außerdem beobachten, daß die Fasern in Discushöhe bis zu den Processus costarii ziehen, sich dort unter kleineren Öffnungswinkeln überkreuzen und in die für diese Stelle (siehe Abb. 6) charakteristische Architektur des Knochens übergehen.

Im Gebiet der anderen Regionen, d.h. in Brust- und Halsbereich, ist der eben beschriebene Verlauf der Fasern in Richtung der Processus transversi nur angedeutet.

Entlang der gesamten Wirbelsäule findet man in sagittaler Ebene Faserkontingente, die zwar von cranial nach caudal verlaufen, gleichzeitig aber auch zur Seite und zur Tiefe, d.h. nach innen abbiegen.

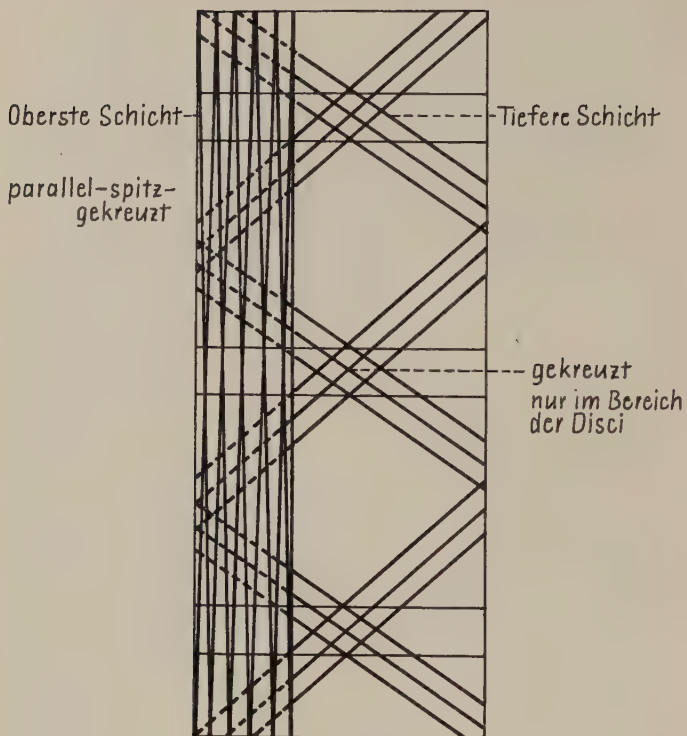
Die nach innen laufenden Fasern kann man als Verbindungsfasern zweier Faserschichten betrachten. Im unteren Brust- und im gesamten Lendenbereich kommen diese Verbindungsfasern gehäuft vor. Sie verlaufen jedoch nicht geradlinig, sondern biegen schraubenförmig ab, so daß mit anderen Fasern aus anderen Ebenen wieder eine Überkreuzung stattfinden kann.

Die Fasern der innersten Schicht stellen den interessantesten Teil des Bandapparates dar. Sie sind verantwortlich für die Anheftung des Bandes an Wirbel und Discus intervertebralis und somit Träger der aus ihrer besonderen Lage heraus zu verstehenden Funktionen des Bandes.



Abb. 8: Vertebrae thoracicae 9 - 10.

Unter der oberflächlich meist longitudinal verlaufenden Schicht sind in Zwischenwirbelscheibenhöhe Faserzüge zu erkennen, die sich unter verschiedenen Winkeln überkreuzen.



ad Abb. 8: Schematische Darstellung des Faserverlaufs der oberflächlichsten Schicht des Ligamentum longitudinale anterius. Berücksichtigung der gekreuzten Fasern der tieferen Schicht in Höhe der Disci intervertebrales thoracales.

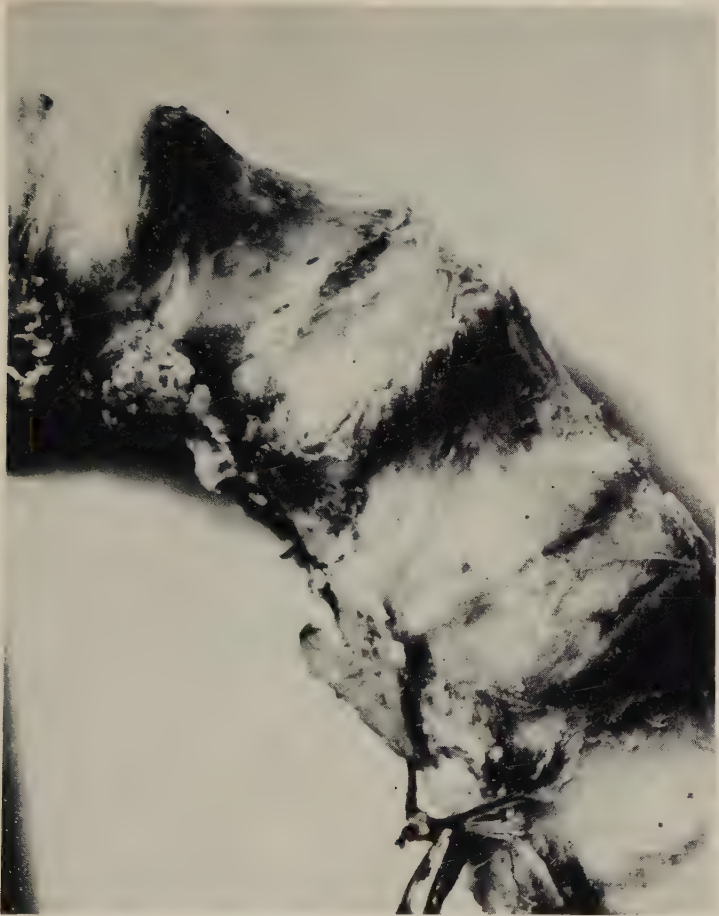


Abb. 9: Vertebrae lumbales 3, 4, 5.

In seitlicher Aufsicht sind die verstärkten, sich überkreuzenden Faserzüge im Bereich der Disci gut zu sehen. Sie inserieren am Knochenwulst, an der Spongiosa und gehen in die Anuluszone über.



Abb. 10: Vertebrae lumbales 3, 4, 5.
Durch das Überkreuzen der Fasern wird der Discus fest zwischen zwei benachbarten Wirbeln fixiert. Longitudinal verlaufende Faserkontingente heben sich von ihrer Unterlage ab.



Abb. 11: Nach Abpräparation der oberflächlichen, longitudinal verlaufenden Bandschicht sind solche Faserzüge zurückgeblieben, die entweder fest mit der Spongiosa oder mit dem Anulus fibrosus in Verbindung stehen.

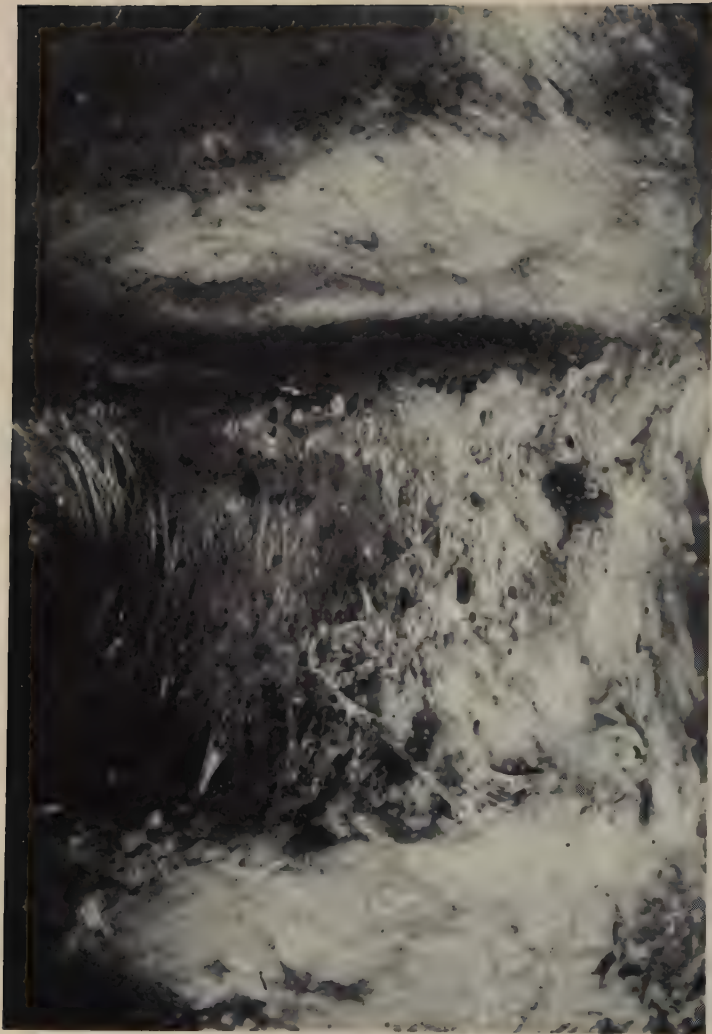


Abb. 12: Vertebra lumbalis 3.

Bei Ausschnittvergrößerung ist im Bereich der Disci (hell) deutlich ein mehr horizontal gestelltes Scherengitter - von Bandfasern gebildet - sichtbar.

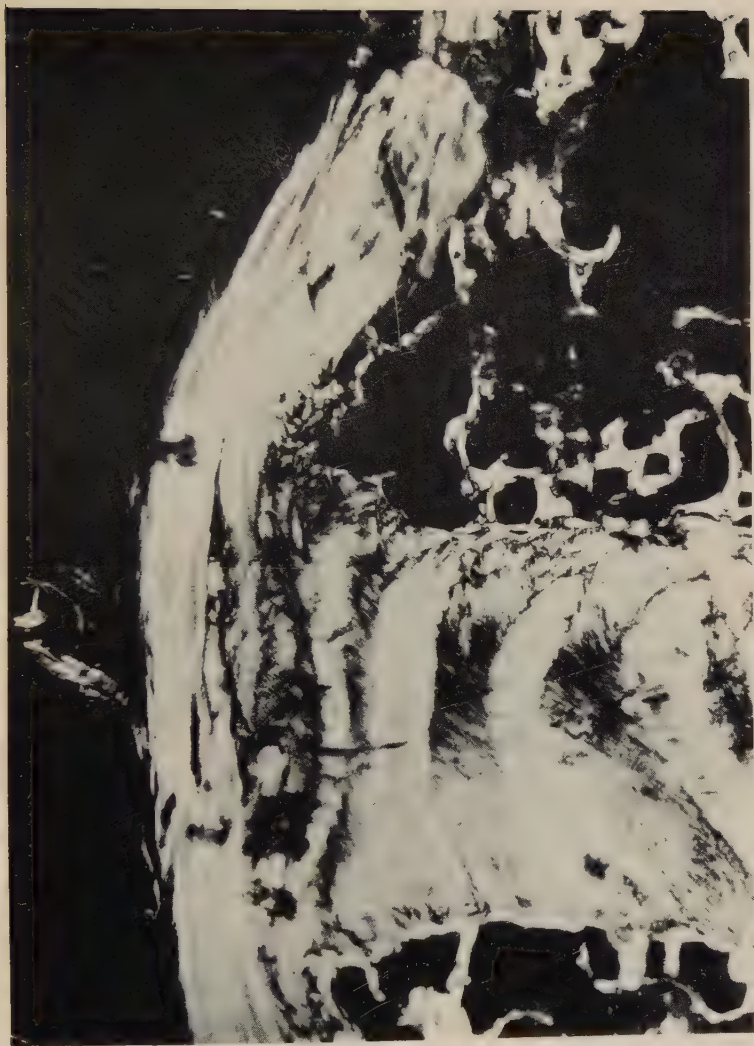


Abb. 13: Vertebra thoracica 3.

Im Sagittalschnitt unter dem Polarisationsmikroskop betrachtet erscheint der Discus in hellen und dunklen Streifen. Kranial und kaudal des "streifenförmigen" Discus ist die Spongiosastruktur zu erkennen. Das Band zieht als heller Streifen über Spongiosa und Discus. Helle Fasern sind solche, die in gleicher Ebene getroffen wurden.

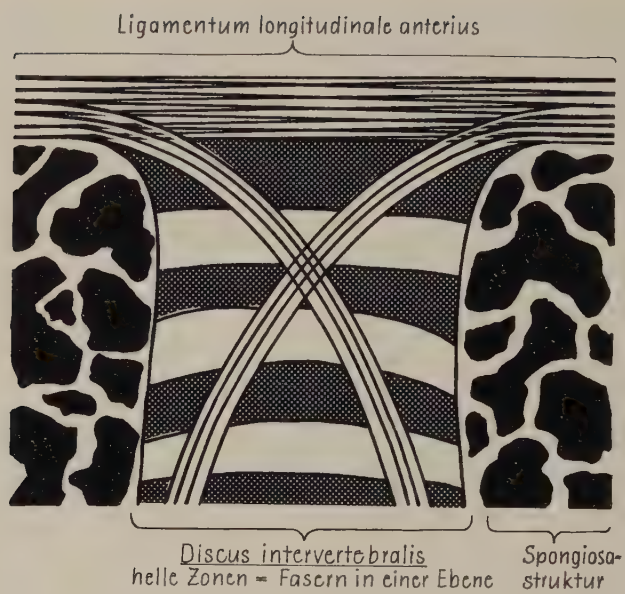


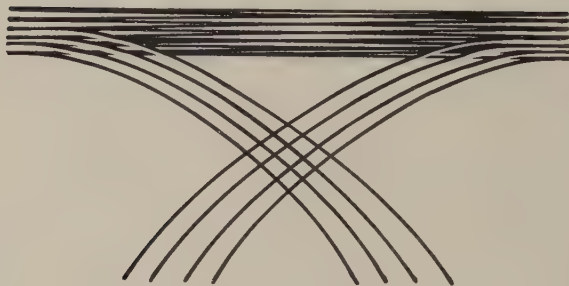
Abb. ad 13



Abb. 14: Ausschnittvergrößerung des Lig. long. ant. im Bereich des Discus Th 12.

Die ventrale helle Zone (links): das sagittal geschnittene Lig. long. ant.
 Am oberen Bildrande sind Fasern zu erkennen, die von ihrem geradlinigen Verlauf abzweigen und in die Struktur des Anulus ziehen (dunkle Zone).
 Die rechts liegende helle Zone: Fasermassen in der Ebene des Bandes.

Ligamentum longitudinale anterius



gekreuzte Fasern im Bereich des Discus

Schema zu Abb.14



Abb. 15: Sagittalschnitt von Th 3.

Kranial und kaudal von der homogenen gestreiften Discuszone sind einzelne Spongiosabälkchen zu sehen.

Die äußerste Schicht des Bandes hebt sich ab. Die konzentrische Streifenzeichnung des Discus intervert. kommt durch den sich kreuzenden Verlauf der Bindegewebsfasern zustande. Das Abbiegen der Fasern der innersten Bandschicht in die Struktur des Anulus fibrosus ist deutlich erkennbar.

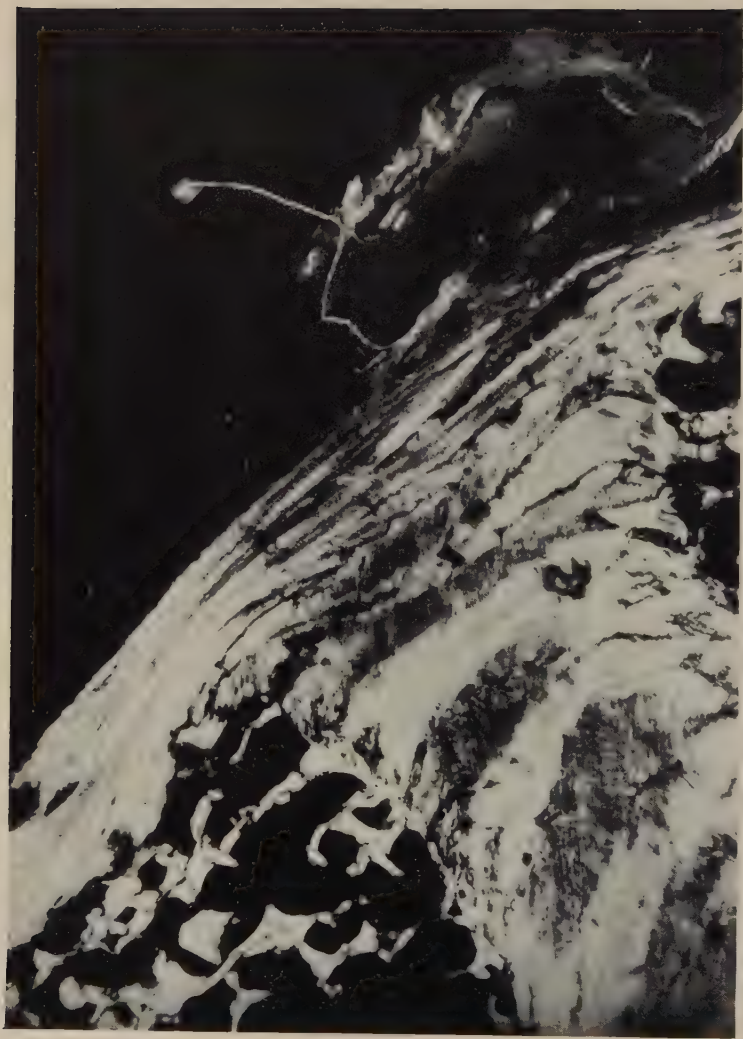


Abb. 16: Abbildung 15 unter Polarisationswinkelveränderung.

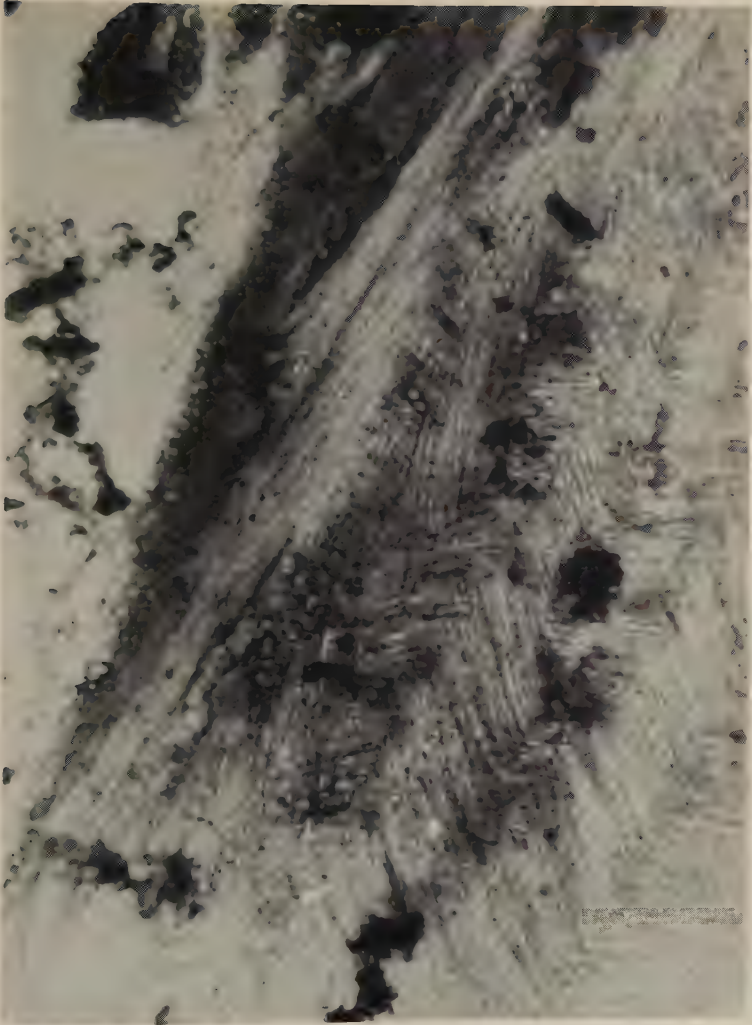


Abb. 17: Ausschnittvergrößerung von Abb.16. Ohne Polarisator fotografiert. Lamellenstruktur des Anulus fibrosus deutlich erkennbar. Am linken Bildrand in vorderes Längsband übergehend.



Abb. 18: Ligamentum im Thoracalbereich.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß zwar von Schichten gesprochen werden kann, diese jedoch nicht als getrennt vorkommende Zonen zu verstehen sind. Ständig fließende Übergänge erschweren eine Zerlegung dieser rautenförmigen Netzstruktur in einzelne Schichten.

Betrachtet man einen Sagittalschnitt z.B. im Bereich des dritten Thoracalwirbels und verfolgt den Verlauf der kollagenen Fasern, so sieht man die Hauptmasse der Fasern der äußeren Zone über den Discus hinwegziehen, während andere zur mittleren Faserschicht umbiegen (s.o. Verbindungsfasern). In der zuinnerst gelegenen Faserzone des Ligamentum longitudinale anterius findet man keine Fibrillen, die den Discus überbrücken und die Kompaktazonen zweier benachbarter Wirbelkörper verbinden. Alle Fasern biegen von ihrem bisherigen Verlauf ab, um in den Discus einzustrahlen, allerdings unter verschiedenen Winkeln.

Solche Fasern, die weiter außen gelegen sind, zweigen unter einem Winkel, der größer als 90° ist, ab und dringen zur Discus-Wirbelkorpuszone vor (siehe Abb. 13, 14, 15, 16 u. 17).

Daruntergelegene Fasern ziehen unter kleinerem Winkel in das Gerüst des Anulus fibrosus, und die ganz innen gelegenen Fasern ziehen direkt durch den Anulus und verlieren sich in der homogenen Masse des Nucleus pulposus (Abb. 13). Auf Grund dieser verschiedenen Abbiegungswinkel finden sich auch verschiedene Schnittpunkte der Fasern. Die aus den äußeren Zonen kommenden Fasern werden sich wegen ihrer großen Biegungswinkel eher überschneiden als die der inneren Zone.

Daher finden sich Schnittpunkte in regelmäßigem Abstand vom Nucleus pulposus ausgehend und zur Anulus fibrosus-Peripherie ziehend.

Betrachtet man einen Horizontalschnitt durch Discus und Band, so sieht man, daß die Schnittpunkte der Fasern in verschiedenen Zonen liegen und einen unterschiedlichen Abstand von der Nucleus pulposus-Mitte haben.

Man kann sich den oft als Lamellenstruktur des Anulus fibrosus bezeichneten Aufbau aus den Schnittpunkten verschiedener Fasersysteme entstanden denken. Strukturell gesehen handelt es sich daher nicht um einzelne "Ringe", sondern um kreis- und gleichförmig gelagerte Schnittpunkte dieser Fasersysteme, welche eine derartige Ringstruktur vortäuschen (siehe Abb. 15 und 16).

Verfolgt man im polarisierten Licht eine Kollagenfaser des Ligamentum longitudinale anterius der innersten Schicht im Bereich eines Discus intervertebralis, so biegt sie wie beschrieben vom geradlinigen Verlauf ab, überkreuzt sich mit einer aus entgegengesetzter Richtung kommenden Faser, zieht aber nicht

in derselben Ebene weiter, sondern biegt nach unten bzw. nach oben ab.

In der nächsten Ebene entstehen wiederum Schnittpunkte von Fasern, die wiederum aus dieser abgezweigt oder von einer höhergelegenen Ebene nach unten abgebogen sind (siehe Abb. 14, 15, 16. Abb. 21 und 22).

Die in Nähe des "Kerns" gelegenen Schnittpunkte werden von Fasern der innersten Schicht gebildet.

Die kollagenen Fasern des Faserknorpels nehmen ähnlichen Verlauf und sind kaum von denen des Bandes zu unterscheiden. Da ein kontinuierlicher Übergang der Bandfasern in den Anulus fibrosus festgestellt wurde, kann man das Fasersystem des Bandscheibenringes nicht als selbständig bestehend betrachten, sondern nur im Zusammenhang mit dem Verlauf der Fasern des vorderen Längsbandes verstehen (siehe als Ergänzung pol.optische Aufnahme des Discus und Ligamentum von TH 12, Abb.20).

Wurde bisher der Verlauf der Fasern in Zwischenwirbelscheibenhöhe erörtert, so soll er jetzt in Beziehung zum Wirbelkörper gesehen werden.

Die Untersuchung ergab, daß in allen drei Regionen mehrere Faserkontingente unterschieden werden können, die auch hier mittels einzelner Verbindungsfasern in engerer Beziehung zueinander stehen. Am stärksten ist dies im Lendenbereich ausgeprägt.

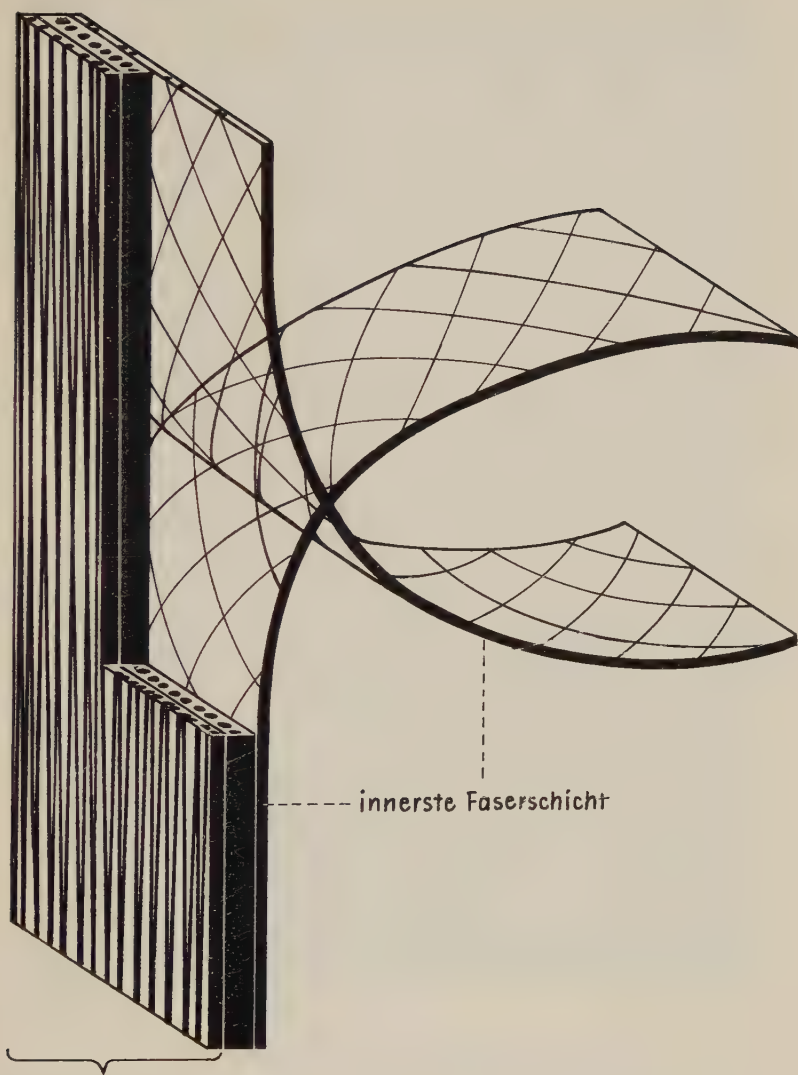
Über die Frage der Anheftung am Knochen gibt uns auch hier wieder die Betrachtung der innersten Schicht Auskunft. Zieht die Hauptmasse der äußeren Schichten wie beschrieben von cranial nach caudal im Longitudinalverlauf, so verlassen einzelne Faserzüge diese Richtung und gehen in die Architektur der Spongiosatrabekel über (Abb.19, 23, 24).

Hier wiederum weichen manche Fasern aus der Ebene ab und beteiligen sich am Bau der Wände der beschriebenen würfelförmigen Gebilde.

Sie ziehen in das Gerüst der Bälkchen und folgen der s-förmigen Trabekelstruktur (Abb.25, 26).

In horizontaler Ebene ziehen sogar einige Fasern spiralförmig vom äußeren Bandrand in Richtung Knochen und unterkreuzen die längsverlaufenden Fasern.

Die tiefste längsverlaufende Faserschicht des Bandes gibt einzelne Fasern ab, die einen Wirbelkörper mit dem nächsten verbinden, wobei sie meist in die Lamellenstruktur des Bandscheibenringes oder in die Zona compacta ziehen (Abb.28). (Siehe dazu Gesamtschema der Zusammenfassung.)



innerste Faserschicht

äußerste Faserschicht

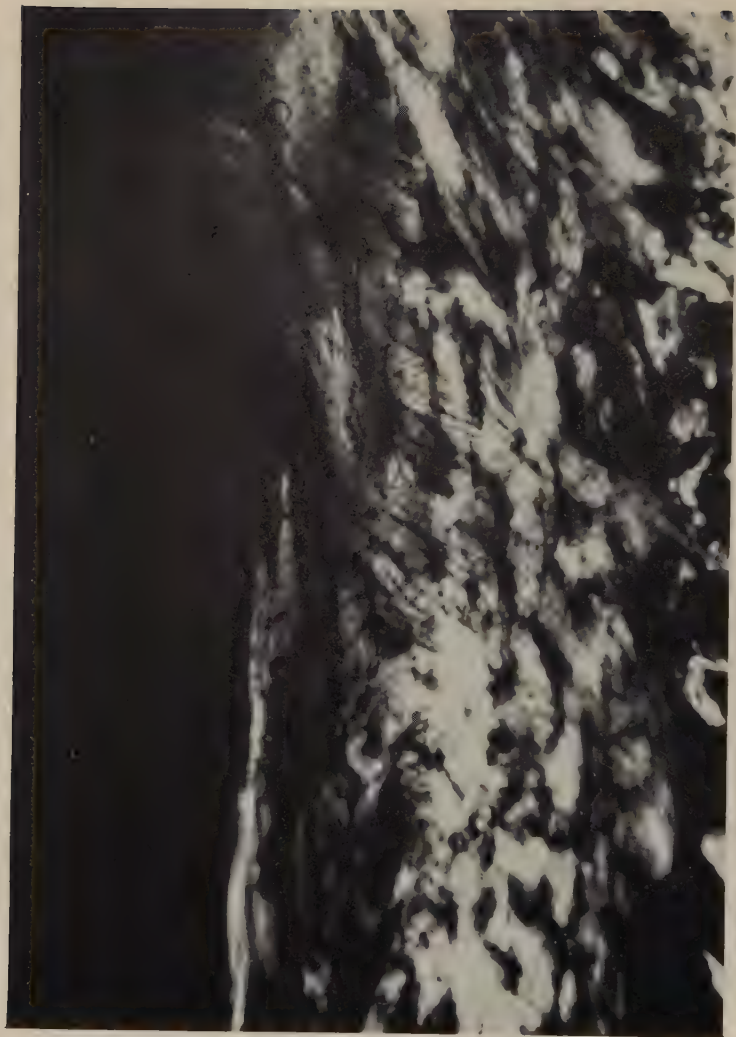


Abb. 19: Ligamentum (Aufnahme mit Polarisator)



Abb. 20: Discus und Ligamentum im Sagittalschnitt (Th 12).
 Am linken Bildrand ziehen die Faserschichten des vorderen Längsbandes geradlinig vorbei. Die innerste Schicht des Bandes läuft in die Lamellenstruktur des Anulus fibrosus (helle und dunkle Streifen).



Abb. 21: Discus im Lumbalbereich.

Die konzentrische Lamellenzeichnung im polarisierten Licht gesehen. Spiralförmig und sich überkreuzend verlaufen die Fasern vom vorderen Längsband kommend in Richtung Nucleus pulposus.



Abb. 22: Wie Abb. 21 bei Polarisationswinkelveränderung.



Abb. 23: Vertebra thoracica 3. Horizontalschnitt.
 Faserzüge laufen horizontal aus der oberflächlichen Schicht in die Tiefe, um sich hier zu überkreuzen. Andere Fasern biegen aus dem Bandverlauf ab und ziehen in die Trabekelstruktur der Spongiosa.



Abb. 24: Wie Abb. 23 bei Polarisationswinkelveränderung.

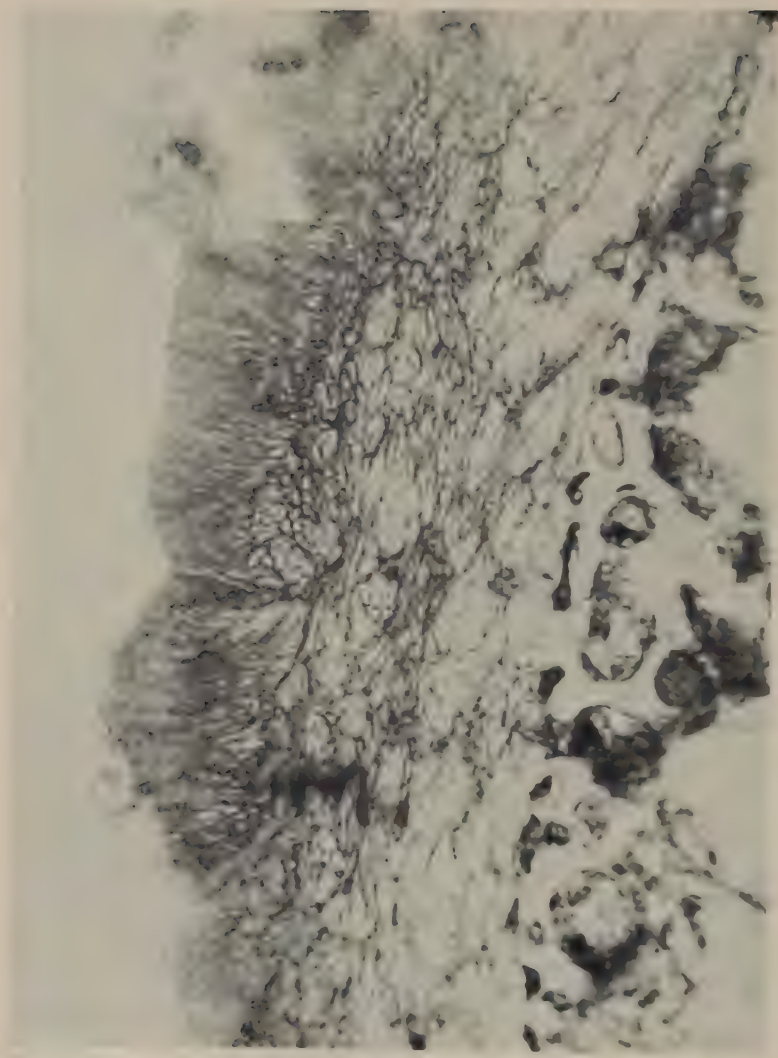


Abb. 25: Vertebra thoracica 4.

Darstellung der horizontal verlaufenden Fasern (Kombination von Auflicht und durchfallendem Licht).

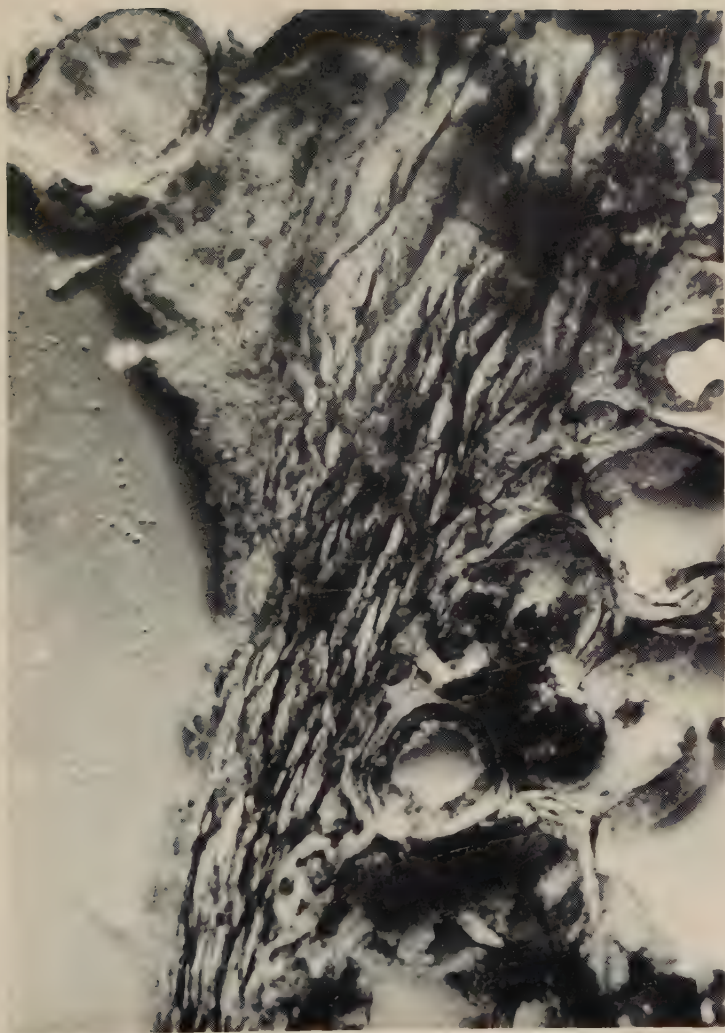


Abb. 26: Horizontalschnitt im unteren Halsbereich.
Übergang der horizontal verlaufenden Fasern des vorderen Längsbandes in die
Trabekelstruktur der Spongiosa.



Abb. 27: Wie Abb. 26, nur in tieferer Ebene geschnitten.

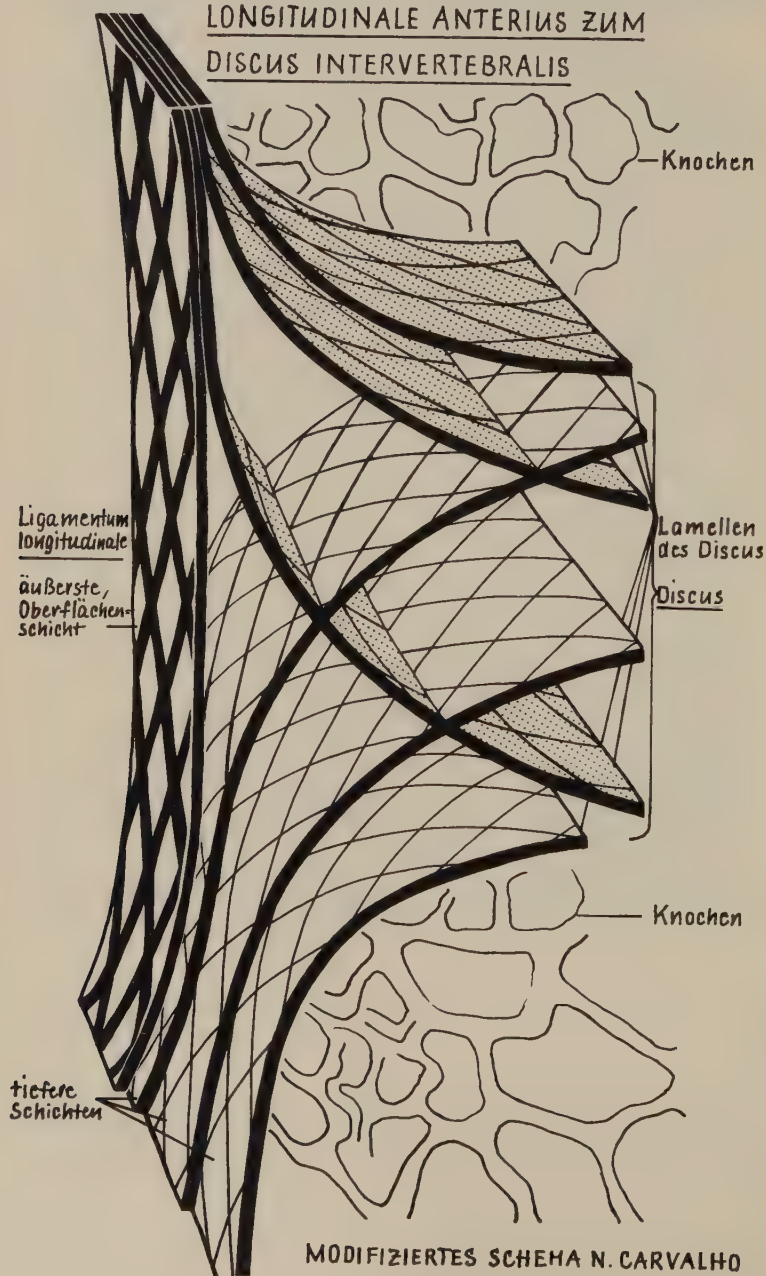


Abb. 28: Schematische Darstellung der oberflächlichen Spongiosastruktur zweier benachbarter Wirbel, des vorderen Längsbandes und eines Discus intervertebralis.

Die einzelnen Schichten des vorderen Längsbandes sind schematisiert gezeichnet. Das Longitudinal- und das Transversalsystem sind dargestellt. Der Discus ist angeschnitten und die Lamellenstruktur in Schichten freigelegt. Die Pfeile bezeichnen die Verlaufsrichtungen der Bandfasern.

SCHEMA DES VERHALTENS DER FasERN DES Ligamentum

LONGITUDINALE ANTERIUS ZUM DISCUS INTERVERTEBRALIS



MODIFIZIERTES SCHEMA N. CARVALHO

IV. DISKUSSION

Über die Gestalt und Funktion des Ligamentum longitudinale anterius ist man geteilter Ansicht.

MERKEL (1913) schreibt in seiner Skelettlehre:

"Das Ligamentum longitudinale anterius überzieht den vorderen Umfang der Wirbelkörper. Es füllt die Hohlkehlen ihrer Vorderseite aus und verbindet sich ununterbrochen vom Schädel bis zum Kreuzbein, wobei jedoch die einzelnen Faserzüge nicht über die ganze Wirbelsäule hin in den oberflächlichen Lagen über 4-5 Wirbel hin, in der Tiefe nur von einem bis zum anderen laufen. Das Band beginnt am Hinterhaupt und Tuberculum pharyngium. Schon vom unteren Teil des Epistropheus verbreitert es sich, da die Mm. longi auseinanderweichen. Von da ab breitet es sich über den ganzen vorderen Umfang der Wirbelkörper aus, wobei jedoch der Mittelteil nicht unerheblich dicker bleibt als die Seitenteile. Beide werden durch schlitzförmige Spalten für den Durchtritt der Wirbelgefäße unvollkommen voneinander getrennt."

BENNINGHOFF bestätigt dies, weist aber darauf hin, daß das Ligamentum longitudinale anterius die Zwischenwirbelscheiben überspannt, ohne sich fester mit ihnen zu verbinden.

Während BENNINGHOFF von einer Bandansetzung am Knochenwulst spricht, weist FICK (1904) auf eine Bandansetzung am ganzen Wirbelkörper hin.

Weiterhin gibt es verschiedene Auffassungen über die Verbindung mit der intervertebralen Scheibe.

So bestätigt HENLE (1856) eine feste Anheftung an die Scheibe. Er schreibt: "Sehr genau hängen sie (die Fasern des vorderen Längsbandes) mit den vertikalen Bündeln der Oberfläche der Wirbelsynchondrosen zusammen, von den Wirbelkörpern sind sie durch eine Lage von mehr lockerem und unregelmäßigem Bindegewebe geschieden."

Eine lockere Verbindung zwischen Band und Scheibe soll nach BENNINGHOFF und FICK bestehen.

HYRTL (1875) äußert sich jedoch:

"Das Band adhärirt fest an die vordere Gegend der Wirbelkörper und besonders der Bandscheiben."

Diese Verbindung wird aber von keinem der Autoren genauer beschrieben.

Ein genaues Verständnis der Anheftung des vorderen Längsbandes kann somit nur nach Kenntnis des Baues der Zwischenwirbelscheibe erbracht werden.

TÖNDURY (1959) schreibt in seiner Entwicklungsgeschichte:

"Zwischenwirbelscheiben im eigentlichen Sinne des Wortes gibt es nicht. Aus diesem Grund wäre es eigentlich besser, vom Zwischenwirbelraum oder Synchrondrosis intervertebralis zu sprechen....

... Der Faserring besteht aus konzentrischen Lamellen, die sich aus derben, sehnigen, kollagenen Fasern aufbauen. Er stellt die unverschiebbliche Verbindung zweier benachbarter Wirbel her, indem die Fasern in die knöchernen Randleisten bzw. Kalkknorpelplatten einstrahlen und darin fest verankert sind."

Schon SIEGLBAUER (1935) war derselben Ansicht und führte weiter aus, daß die Fasern sich in den aufeinanderfolgenden Lamellen in wechselnden Winkeln überkreuzen, so daß bei Bewegungen der Wirbel gegeneinander immer bestimmte Züge gespannt sind.

Manche Autoren trennen aufgrund der Konsistenz und der Zusammensetzung scharf den Kern von dem umgebenden Ring.

TÖNDURY (1959) spricht jedoch von fließenden Übergängen.

Auch FICK (1904) schreibt bereits:

"Die beiden Teile sind aber, das ist vor allem hervorzuheben, nicht scharf voneinander getrennt, sie gehen ganz allmählich ineinander über."

Meine Untersuchungen konnten eine Bestätigung der Ergebnisse dieser beiden Autoren, vor allem der Auffassung TÖNDURYs, erbringen.

CARVALHO (1964) hat von einer makroskopischen Betrachtung des vorderen Längsbandes abgesehen und die Feinstrukturen mit ihrer Problematik zu erfassen versucht.

Nach seinen Untersuchungen an Wirbelsäulen von Neugeborenen kam er zu dem Ergebnis, daß hier mit Recht von einem funktionellen System, so wie es BENNINGHOFF verstand, gesprochen werden darf.

Nach seinen Befunden ist ein oberflächlicher Verlauf der Fasern in longitudinaler Richtung vorhanden, aber auch eine maschenförmige Struktur.

Während seine Untersuchungsergebnisse über den Verlauf der äußeren und mittleren Zone beim Fetus und Neugeborenen den von mir beim Erwachsenen gefundenen entsprechen, gibt es keine völlige Übereinstimmung über die Anheftung der innersten Schicht in diesen verschiedenen Altersstufen.

CARVALHOs Untersuchungen ergaben keine feste Anheftung im Bereich der Disci intervertebrales, allerdings findet auch er die lockere Verbindung der äußeren Lamellenzone des Anulus fibrosus mit der innersten Schicht des Längsbandes.

Die Analyse der dicken Schnitte im polarisierten Licht ergab beim Erwachsenen jedoch, daß die Faserschichten des Bandes in die des Zwischenwirbelscheibenringes kontinuierlich übergehen. Es wurde festgestellt, daß die Fasern der innersten Schicht des Bandes von cranial nach caudal und von ventral nach dorsal spiralförmig in die Struktur des faserigen Ringes ziehen.

MERKEL (1913) schreibt über die Faserstruktur des Ringes:

"Dieser letztere besteht aus etwa 70 miteinander durchflochtenen Schichten von lamellenartig angeordneten Bindegewebszügen, welche in weitläufigen Spiraltouren die beiden Wirbelendflächen miteinander verbinden. Ihr Verlauf vollzieht sich in der Art, daß die Fasern der einen Schicht von unten links nach oben rechts aufsteigen, daß die der nächsten von unten rechts nach oben links. Auf einem Horizontalschnitt entsteht dadurch eine konzentrische Zeichnung, welche sich aus hellen und dunklen Streifen zusammensetzt."

SIEGLBAUER (1935) betrachtet die Bindegewebsfasern des Ringes näher und erwähnt, daß sie als Sharpey'sche Fasern in die Endflächen der Wirbelkörper eindringen.

CARVALHO, der diesen Verlauf genauer analysierte, glaubt, daß diese Fasern zur Zwischenwirbelscheibe gehören und nicht mit denen des Bandes identisch sind.

CARVALHO ist außerdem der Ansicht, daß die funktionelle, anatomische Struktur des Bandes in einem durchlaufenden Spiralsystem zu finden ist. Er vergleicht den Verlauf der Fasern des Bandes mit konzentrischen Spiralen, die sich vom Kopf bis zum Lendenbereich "herabdrehen".

Unsere Untersuchungsergebnisse bestätigen, daß ein Spiralsystem der kollagenen Fasern der innersten Schicht des vorderen Längsbandes in Höhe des Discus und ein Spiralsystem der Fasern im Discus intervertebralis auch beim Erwachsenen vorhanden ist.

Der spirale Verlauf der Fasern in Wirbelkörperhöhe ist im Innern nicht klar zu erkennen, da die Fasern des Bandes mit dem Trabekelsystem der Spongiosa in unmittelbarer Beziehung stehen. Im Verlauf der endgültigen Ausdifferenzierung der Spongiosaarchitektur der Wirbelkörper im Alter ist der geschlossene spirale Verlauf der Bälkchen im Innern verlorengegangen.

Der durchgehende spirale Verlauf der Bindegewebsfasern ist im Bereich des Wirbelkörpers unterbrochen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigen, daß sich zwar die funktionellen Strukturen des vorderen Längsbandes während der Entwicklung vom Kind zum Erwachsenen geändert haben, die spirale Grundtendenz jedoch erhalten blieb.

Im Bereich der Zwischenwirbelscheibe ist sie am ausgeprägtesten. Am Wirbelkörper dokumentiert sie sich noch deutlich in der Schraubenstruktur der äußersten Schichten und der ihnen aufliegenden Bindegewebsfasern.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Nachdem das Fasersystem des Längsbandes im Hals, in der Brust und im Lendenbereich geschildert wurde, sollen im folgenden die Einzelheiten abschließend als geschlossenes System des Bandes im ganzen zusammengefaßt werden.

Zunächst eine schematische Übersicht der zusammenfassenden Betrachtung: Das Ligamentum longitudinale anterius gliedert sich in folgende Schichten und Faserzüge:

- I. Längssystem - oberflächlich -
 - a) mittlerer verdickter Teil
 - b) zwei lateral liegende Längszüge
 - c) scherengitterartig sich überkreuzend
 - d) Verbindungsfasern zu tieferen Schichten
- II. Längssystem - tief -
 - a) ventrale Zone
 - b) dorsale, tiefe Zone
 - c) Verbindungsfasern von Id zu IIa und von IIa zu II b
 - d) Verbindungsfasern von IIc zu III
- III. Transversales System (zum Teil aus II hervorgehend) übergehend in:
 - a) Anulus fibrosus
 - b) Spongiosatrabekel
 - c) Kompaktawulst
 - d) Processus transversi et costarii-Struktur

Die Wirbelsäule, welche das Aufrechterhalten, die Lateral-, Ventral-, Dorsalflexion und die Torsion ermöglicht, setzt sich aus einer Vielzahl von einzelnen Systemen zusammen, die zwar jedes für sich gewisse, gesonderte Einheiten bilden, bei Fehlen eines durchlaufenden Ordnungsprinzips aber die Gesamtfunktion nicht sichern könnten.

Die Wirbelsäule zeigt zahlreiche, ineinander übergehende, faserige Systeme, von denen hier nur die Architektur des als Ligamentum longitudinale anterius bezeichneten Teiles und dessen Beziehungen zum Wirbelkörper und dem

Discus aufgezeigt wurden. Es ist ein Fasersystem, das aus verschiedenen weiten, scherengitterförmigen Zügen besteht, die in ihrer Hauptrichtung von cranial nach caudal und sagittal von ventral nach dorsal verlaufen. Letztere biegen wirbelkörperwärts ab. Die einzelnen Faserzüge sind unter spitzen Winkeln anastomosierend miteinander verbunden und stehen gleichzeitig mit denen tiefer gelegener Schichten durch horizontal abbiegende Fasern in Beziehung.

Sowohl im Bereich des Wirbelkörpers als auch in dem der Zwischenwirbelscheibe konnte eine enge Beziehung mit dem Trabekel- und dem Lamellensystem festgestellt werden. Die Fasern beteiligen sich am Aufbau der Lamellenstruktur und sind so innig mit ihr verbunden, daß man eine Trennung beider Systeme nicht durchführen kann, obwohl es präparatorisch möglich ist, die äußere und mittlere Bandschicht von der Zwischenwirbelscheibe zu trennen.

Im Bereich der Spongiosa folgen die Bandfasern dem charakteristischen Verlauf der Trabekel und gehen in diese über. Die funktionelle Einheit des Bandes ist durch seine Bindegewebsfibrillenarchitektur begründet.

Auf Grund der netzförmigen Struktur, den schraubenförmigen Windungen der Fasern, den Anheftungen an Wirbelkörperflächen und Disci intervertebrales, den gitterförmigen Überkreuzungen ist ein System entwickelt, das den besonderen Aufgaben und Leistungen der Wirbelsäule gerecht wird.

Konnte CARVALHO seine Untersuchungen beim Neugeborenen an dicken Schnitten über 2-3 Wirbelsegmente machen, so mußten diese Untersuchungen am Erwachsenen jeweils durch Schnitte nur je eines Segmentes ermittelt werden.

Ihm gelang es daher auf Grund seiner Schnitte, die Kontinuität der Fasern und ihre spiralförmige Grundstruktur aufzuzeigen. Durch die endgültige Ausdifferenzierung der Knochenstruktur und ihre Veränderung beim Erwachsenen wird diese fortlaufende spiralförmige Grundtendenz teilweise unterbrochen.

CARVALHO fand in den Neugeborenenwirbelkörpern eine radiale Anordnung der Spongiosabälkchen auf die Mitte des Corpus hin und ein verdichtetes Gebiet in diesem Zentrum (siehe Foto). In diese im Sagittalschnitt außerordentlich deutliche strahlenförmige Trabekelstruktur strahlen die Anheftungsfasern des vorderen Längsbandes ein.

Der durch das Zentrum ziehende Verlauf der Fasern ist gut zu analysieren. Beim Erwachsenen jedoch geht die Radialstruktur der Trabekel verloren. Die

Bälkchen konvergieren nicht mehr zum Mittelpunkt hin. Die verdichtete Zone ist zum dorsalen Wirbelkörperperrand verschoben.

Somit ist beim Erwachsenen der kontinuierliche Verlauf der Fasern durch den Wirbelkörper wahrscheinlich in der ursprünglichen Form nicht mehr vorhanden. Die Bandfasern heften sich an den Trabekeln der Spongiosa des Wirbelkörpers an und verlieren sich in dem Grundgerüst der Wirbelkörperbälkchen des Erwachsenen.

Hier soll jedoch darauf hingewiesen sein, daß sowohl CARVALHOs Untersuchungen als auch die hier angestellten jeweils nur einen zeitlich begrenzten Ausschnitt aus der fortlaufenden Strukturentwicklung des Wirbelkörpers und des vorderen Längsbandes geben können.

Es konnte nur eine bestimmte Phase in der Entwicklung isoliert betrachtet werden. Die fließenden Übergänge der Entwicklung zwischen dem Neugeborenen und dem Erwachsenen fehlen einstweilen und wären noch zu untersuchen.

Die hier gemachten Feststellungen können daher nur als zwei herausgegriffene Teilresultate einer längeren Entwicklung des Bandes und des Wirbelkörpers aufgefaßt werden.

Unterliegt die radiäre Trabekelstruktur des Wirbelkörpers beim Neugeborenen noch vielen Entwicklungsprozessen und Umwandlungen, so wird man die Spongiosastruktur beim Erwachsenen als endgültig bezeichnen können. Auf der Anordnung der vertikal und horizontal ausgerichteten, sich senkrecht kreuzenden Spongiosabälkchen des Wirbelkörpers beim Erwachsenen beruht dessen statische Funktion, entsprechend der Belastung von cranial nach caudal.

Kann man beim Neugeborenen in der radiären Spongiosastruktur in allen Ebenen die Erfüllung der Anforderungen an die Biegeelastizität vermuten, so ist das schottenartige, rektanguläre Kammerungssystem der Wirbelkörperspongiosa beim Erwachsenen nach dem Starrheits- und Festigkeitsprinzip ausgerichtet und dient der vertikalen Belastung von cranial nach caudal. Möglicherweise entwickelt es sich erst mit der Belastung durch den aufrechten Gang.

Die vorliegenden Befunde zeigen eine Änderung der Struktur von der des Neugeborenen zur endgültigen Funktionsstruktur des Erwachsenenwirbelkörpers.

Es ist zu erwarten, daß auch die hier nicht untersuchten Teile des Bandapparates der Wirbelsäule nur einzelne, makroskopisch mehr oder weniger hervortretende Teile einer übergeordneten, in verschiedenen Richtungen durchlaufenden Gesamtkonstruktion des Bindegewebsapparates und der ihm zugeordneten Skelettelemente sind.



Abb. 29: Lumbalwirbel 3.

Auch in der sagittalen Ebene findet man beim Neugeborenen die Radiärstruktur der Wirbelspongiosa. Deutlich ist am oberen Bildrand das Einstrahlen der Fasern des Bandes in den Wirbelkörper zu sehen.

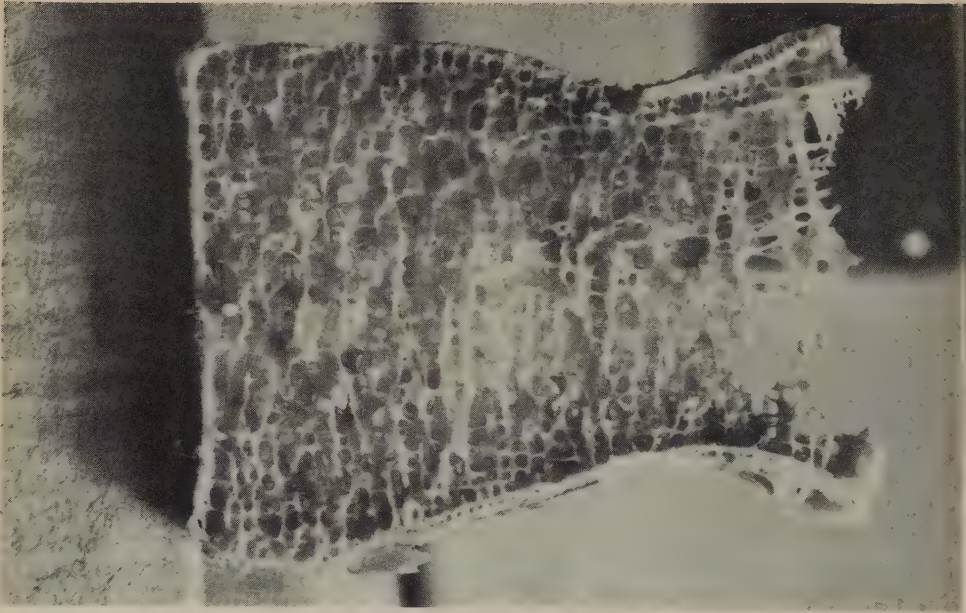


Abb. 30: Beim Erwachsenenwirbelkörper findet man eine mehr vertikal und horizontal ausgerichtete Struktur mit rechtwinkligen Kreuzungen, die in den Randzonen verdichtet ist.



Abb. 31: Das Bild stellt einen Schnitt beim Neugeborenen in horizontaler Ebene durch den 6. Halswirbel dar. Am linken Bildrand ist das vordere Längsband, am rechten Bildrand das hintere Längsband getroffen. Deutlich ist die radial gerichtete Trabeikelstruktur mit dem verdichteten Zentrum zu erkennen.

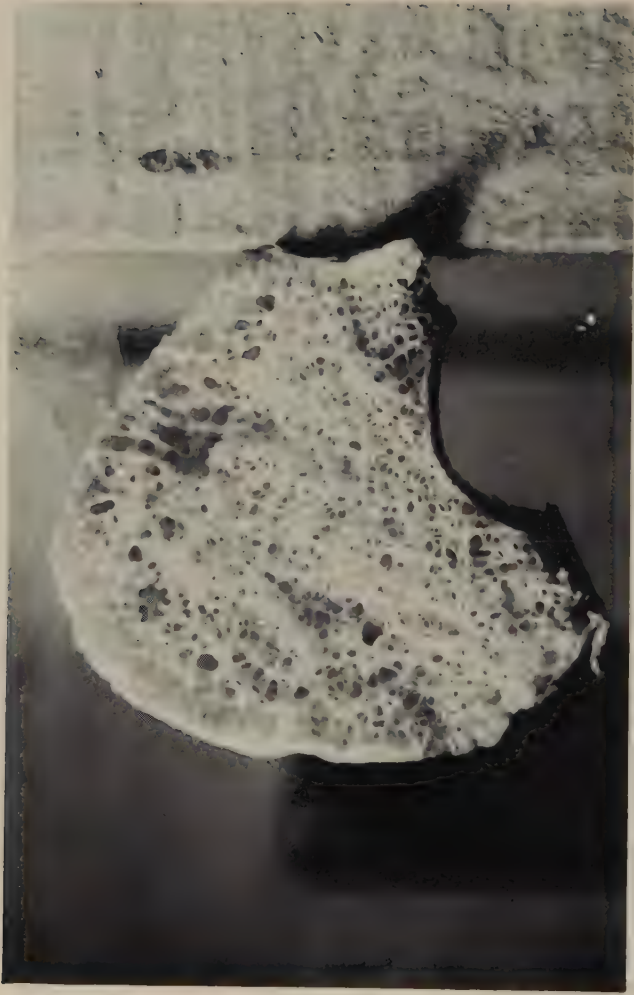


Abb. 32: Ein gleichartiger Schnitt durch den Wirbelkörper des Erwachsenen zeigt diese Radialstruktur nicht mehr.

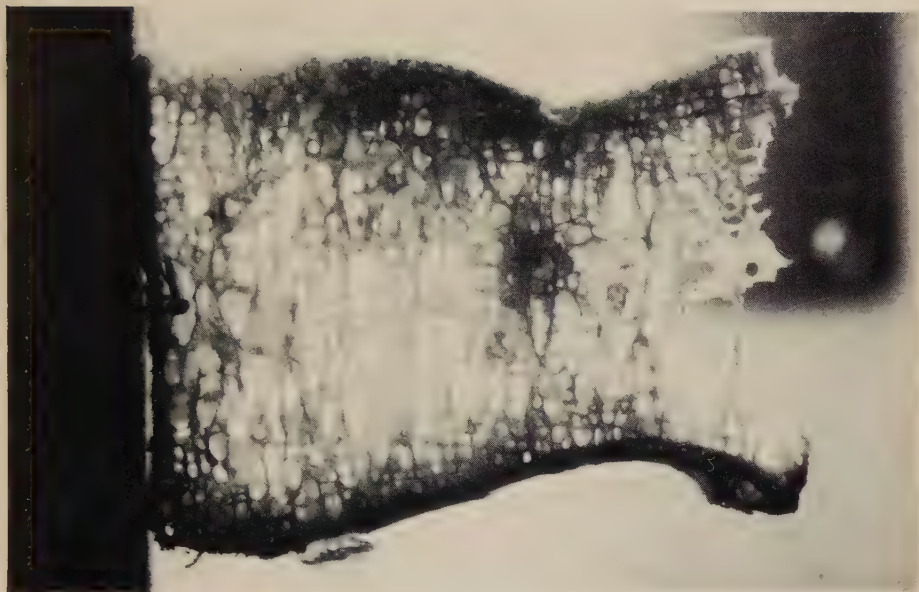
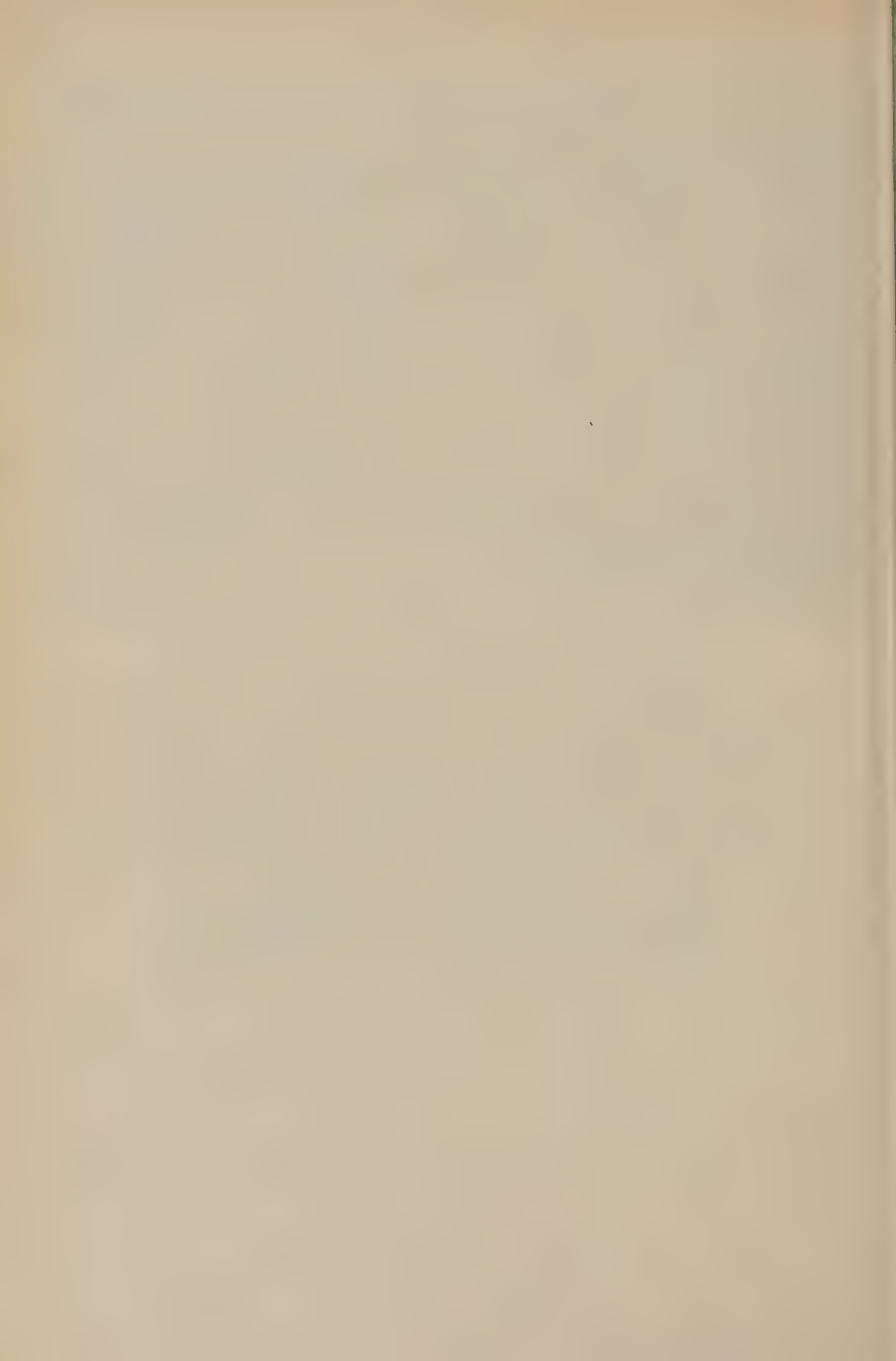


Abb. 33: Die Fotografie zeigt einen Schnitt in sagittaler Ebene durch den dritten Lendenwirbel eines Erwachsenen. Er entspricht dem oben gezeigten, doch die Aufnahmetechnik ist eine andere. Die Lichtquelle befindet sich direkt hinter dem Objekt. Man erkennt deutlich das erwähnte Kammersystem, das von vertikal und horizontal gerichteten, sich rechtwinklig kreuzenden Spongiosabälkchen gebildet wird. Die obere und untere Randzone erscheint verdichtet, eine zentral gelegene Verdichtungszone ist nicht erkennbar.



VI. LITERATURVERZEICHNIS

- 1) BARGMANN, W.: Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen.
3.verb.Aufl. Georg Thieme Verl. Stuttgart 1959
- 2) BENNINGHOFF, A.: Die Faserung von Perichondrium und Periost als Vorläufer der Kompaktaarchitektur am Schulterblatt und Becken.
Ergänzungsh. zum Anat. Anz. Bd. 67, Verl. Gustav Fischer, Jena 1929
- 3) BENNINGHOFF, A.: Über Leitsysteme der Knochenkompakta.
Sonderabdruck aus "Morphol. Jhrb.", Bd. 65, Heft 1/2, 1930, S. 1-10.
Akad. Verlagsgesellschaft m. b. H. Leipzig
- 4) BENNINGHOFF, A.: Funktionelle Anpassung im Bereich des Bindegewebes. Verh. der Anat. Gesellsch. auf der 40. Versamml. in Breslau 1931.
Ergänzungsh. zum Bd. 72 des Anat. Anz., Verl. Gustav Fischer, Jena 1931
- 5) BENNINGHOFF - GOERTTLER: Lehrbuch der Anatomie.
Bd. 1, 7. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1960
- 6) CARVALHO, Claudio A. Ferraz de: O "Ligamentum longitudinale anterius" visto como parte de un sistema anatomofuncional.
(Das Ligamentum longitudinale anterius als ein Teil eines funktions-anatomischen Systems.)
Arbeit aus dem Anatomischen Institut - Mainz (im Druck)
- 7) CORNING, H. K.: Lehrbuch der topograph. Anatomie.
5. Aufl., Verl. J. F. Bergmann, Wiesbaden 1914
- 8) CZIHAK, G. u. ADAM, H.: Arbeitsmethoden der makroskopischen und mikroskopischen Anatomie.
Verl. Gustav Fischer, Stuttgart 1964
- 9) DABELOW, A.: Vorstudien zur Betrachtung der Zunge als funktionelles System. Verh. der Anat. Gesellsch. auf der 48. Versamml. in Kiel, Arbeitsgemeinschaft. med. Verl. G. m. b. H.
Verl. Gustav Fischer, Jena 1951
- 10) FICK, R.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke.
3. Teil: Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik, S. 72 f.
Verlag Gustav Fischer, Jena 1911

- 11) FICK, R.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke.
1. Teil: Anatomie der Gelenke, S. 61/64/78.
Verl. Gustav Fischer, Jena 1904
- 12) GRAY, H.: Anatomy of the human body. 24th edition, 280.
Lea and Febiger, Philadelphia 1942
- 13) HENLE, J.: Handbuch der Bänderlehre des Menschen, S. 26.
Verl. Friedrich Vieweg u. S., Braunschweig 1856
- 14) HYRTL, J.: Lehrbuch der Anatomie des Menschen, S. 301.
13. Aufl., Verlag Wilhelm Braumüller, Wien 1875
- 15) JUNGHANS, H.: Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis.
Hippokrates-Verl., Stuttgart 1958
- 16) MERKEL, F.: Skelettlehre. Passiver Bewegungsapparat. Knochen und
Bänder, S. 23/24.
Verl. J. F. Bergmann, Wiesbaden 1914
- 17) MÜLLER, G.: Eine Hilfseinrichtung zur Untersuchung dicker histologi-
scher Schnitte, S. 347 - 351.
Mikroskopie, Bd. 15, 1961
- 18) PETERSEN, H.: Bänderkinematik (Versuch einer Theorie der Bandver-
bände), S. 35 f.
Abhandl. der Heidelberger Akad. der Wissenschaften, Heidelberg
1918, Carl Winters Univers. Buchhdlg.
- 19) ROHEN, J.: Der räumliche Aufbau des Ziliarkörpers und seine Bedeu-
tung für die Akkommodation.
Anat. Anz., Ergänzungsh. zum Bd. 98, 1951
- 20) ROHEN, J.: Über den funktionellen Zusammenhang zwischen glatter
und quergestreifter Muskulatur im Oesophagus des Menschen.
Anat. Anz., Bd. 102, Verl. Gustav Fischer, Jena 1955/56
- 21) ROUVIÈRE, H.: Anatomie générale, origines des formes et structures ana-
tomiques. Masson et Cie. éditeurs. L'académie de médecine, 1939
- 22) SIEGLBAUER, F.: Lehrbuch der normalen Anatomie des Menschen.
3. Aufl., Verl. Urban & Schwarzenberg, Berlin - Wien 1935
- 23) STARK, D.: Repetitor. anatom. 8. Aufl. Verl. Georg Thieme, Stuttgart
1948

- 24) STORCK, H.: Die Anwendung der Statik auf den menschlichen Bewegungsapparat.
Beih.Zschr.Orthopädie, Bd.81, Verl. Ferd.Enke, Stuttgart 1951
- 25) TÖNDURY, G.: Angewandte und topographische Anatomie, S.257/58.
Verl. Georg Thieme, Stuttgart 1959
- 26) WONGPHAET, S.: Die funktionelle Anatomie des Enddarmes.
Morphol.Jhrb. 107/281-325 / 1965

Als angenehme Pflicht betrachte ich es,

Herrn Professor Dr. Dr. D a b e l o w

für die freundliche Überlassung des Themas, sowie für die
mir gewährte wohlwollende Unterstützung meinen auf-
richtigen Dank zu sagen.

Ferner gilt mein Dank

Herrn Professor Dr. M ü l l e r

für die vielseitigen Anregungen.

LEBENS LAUF

Am 8. Juli 1942 wurde ich als dritter Sohn des Notars Christian Stofft und seiner Ehefrau Wally, geb. Weedel, in Bad Kreuznach geboren. Von 1948 bis 1950 besuchte ich in Sprendlingen/Rhh. die dortige Volksschule. 1950 wurde mein Vater nach Mainz versetzt, so wechselte ich in die hiesige Leibnizsschule über. Ab 1952 besuchte ich das Realgymnasium am Kurfürstlichen Schloß zu Mainz und bestand 1961 dort das Abitur.

Seit 1961 studiere ich an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz Medizin. Nach 2 Semestern bestand ich das Vorphysikum und nach 5 Semestern das Physikum. Meine Famulatur absolvierte ich teils in Hausham/Obb., zum anderen Teil in Toronto/Kanada.

Ich beabsichtige, am Ende dieses Semesters das Staatsexamen zu machen.

